

FN- DIALOG(R)File 347:JAPIO|

CZ- (c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv.|

TI- III-GROUP NITROGEN COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

PN- 10-004210 -JP 10004210 A-

PD- January 06, 1998 (19980106)

AU- WATANABE HIROSHI; ASAI MAKOTO; SHIBATA NAOKI

PA- TOYODA GOSEI CO LTD [419810] (A Japanese Company or Corporation), JP  
(Japan)

AN- 08-175574 -JP 96175574-

AN- 08-175574 -JP 96175574-

AD- June 14, 1996 (19960614)

IC- -6- H01L-033/00

CL- 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components)

KW- R002 (LASERS); R003 (ELECTRON BEAM); R004 (PLASMA); R044 (CHEMISTRY  
-- Photosensitive Resins); R095 (ELECTRONIC MATERIALS --  
Semiconductor Mixed Crystals); R116 (ELECTRONIC MATERIALS -- Light  
Emitting Diodes, LED)

AB- PROBLEM TO BE SOLVED: To contemplate improvements in the increase of  
luminous intensity and luminous efficiency of a blue light emitting  
element.

SOLUTION: After a GaN n-layer having the film thickness of about  
0.6. $\mu$ m, Si density of  $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  and electron density  
of  $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  has been formed on a buffer layer 2, a GaN  
high carrier density n<sup>+</sup> layer (high impurity density layer) 3  
having the film thickness of about 4.0. $\mu$ m, Si density of  $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  and electron density of  $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ , a GaN  
n-layer (second low impurity density layer) 4 having the film  
thickness of about 0.5. $\mu$ m, Si density of  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  and  
electron density of  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ , an In<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.80</sub>N light emitting layer 5 having the film thickness of about  
100nm, an Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N P-conductive type clad layer 71,  
a GaN first contact layer 72, and a GaN p<sup>+</sup> conductive type  
second contact layer 73 are successively formed on the n-layer 31. As  
a result, the crystallinity of the light emitting layer 5 can be  
improved by the n-layer (first low impurity density layer) 31, and as  
a contact electrode is formed on the n<sup>+</sup> layer 3, resistance  
becomes small and the lowering of driving voltage and the improvement  
of light emitting efficiency can be accomplished.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-4210

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月6日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 33/00

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数8 F D (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平8-175574

(22) 出願日

平成8年(1996) 6月14日

(71) 出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地

(72) 発明者 渡邊 大志

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 浅井 誠

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 柴田 直樹

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地 豊田合成株式会社内

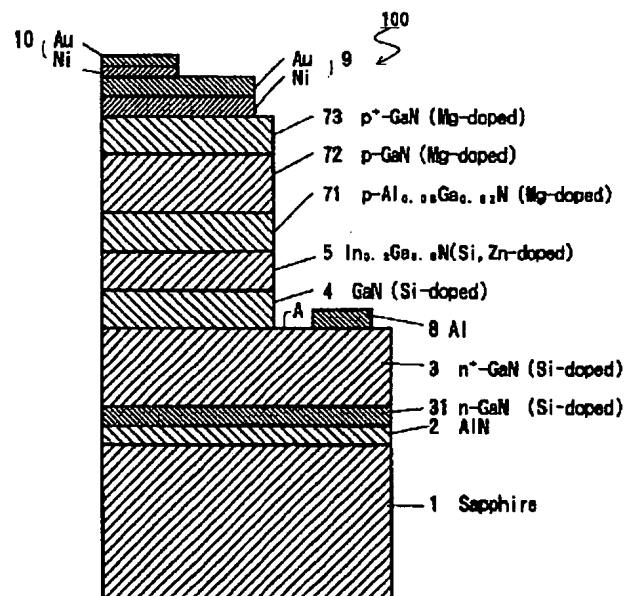
(74) 代理人 弁理士 藤谷 修

(54) 【発明の名称】 3族窒化物化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 青色発光素子の発光強度の増加及び発光効率の向上

【解決手段】 バッファ層2の上に、膜厚約0.6  $\mu\text{m}$  のSi濃度  $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、電子濃度  $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  のGaNのn層(第1低不純物濃度層)31を形成した後、その上に、順次、膜厚約4.0  $\mu\text{m}$ 、Si濃度  $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、電子濃度  $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  のGaNの高キャリア濃度n<sup>+</sup>層(高不純物濃度層)3、膜厚約0.5  $\mu\text{m}$  のSi濃度  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、電子濃度  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  のGaNのn層(第2低不純物濃度層)4、膜厚約100 nmのIn<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.80</sub>Nの発光層5、Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nのp伝導型のクラッド層71、GaNの第1コンタクト層72、GaNのp<sup>+</sup>伝導形の第2コンタクト層73を形成した。n層(第1低不純物濃度層)31により発光層5の結晶性を向上でき、且つ、n<sup>+</sup>層3にコンタクト電極を形成したので抵抗が小さく、駆動電圧の低下、発光効率の向上が達成できた。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上に形成された3族窒化物半導体から成るn層、発光層、p層とを有する発光素子において、前記n層、前記p層のうち前記基板に近い方に形成される層を、前記基板に近い方から、不純物無添加を含む低濃度に不純物を添加した第1低不純物濃度層と、その第1低不純物濃度層の上に形成され、高濃度に不純物を添加した高不純物濃度層とを有する構成とし、前記高不純物濃度層に対してコンタクト電極を形成したことを特徴とする発光素子。

【請求項2】前記高不純物濃度層と前記発光層との間には、低濃度に不純物を添加した第2低不純物濃度層が形成されていることを特徴とする請求項1に記載の発光素子。

【請求項3】前記第1低不純物濃度層のキャリア濃度は $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の発光素子。

【請求項4】前記第1低不純物濃度層の厚さは、 $100 \text{ \AA} \sim 2 \text{ \mu m}$ であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の発光素子。

【請求項5】前記高不純物濃度層のキャリア濃度は $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の発光素子。

【請求項6】前記高不純物濃度層の厚さは $0.5 \sim 10 \text{ \mu m}$ であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の発光素子。

【請求項7】前記第1低不純物濃度層の不純物濃度は $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の発光素子。

【請求項8】前記基板に近い方に形成される層はn伝導形を示すn層であることを特徴とする請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は3族窒化物半導体を用いた半導体素子に関する。特に、発光輝度を向上させた発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、青色や短波長領域の発光素子の材料としてAlGaInN系の化合物半導体を用いたものが知られている。その化合物半導体は直接遷移型であることから発光効率が高いこと、光の3原色の1つである青色及び緑色を発光色とすること等から注目されている。

【0003】AlGaInN系半導体においても、Mgをドーピングして電子線を照射したり、熱処理によりp型化できる。この結果、AlGaInNのp伝導型のクラッド層と、ZnとSiドープのInGaInNの発光層と、GaInNのn層とを用いたダブルヘテロ構造を有する発光ダイオード(LED)が知られている。この発光ダイオードはサファイア基板の上にバッファ層、シリコンを高濃度に添加した $n^+$ 形GaInN層、

シリコンを添加した $n$ 形GaInN層からなるクラッド層、InGaInNから成る発光層、p形AlGaInNのクラッド層、p形GaInNの第1コンタクト層、 $p^+$ 形GaInNの第2コンタクト層を形成したものである。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、このような構造の発光ダイオードは、発光強度が未だ小さいという問題があった。そこで、本発明者らはこの発光素子の結晶性について研究を重ねた結果、次のことが新しく分かった。バッファ層の上にシリコンを高濃度に添加した $n^+$ 形GaInN層を形成して、その上に順次、上の層を形成している。この結果、 $n^+$ 形GaInN層が不純物を多量に含んでいる結果、結晶性が良くなく、従って、その上に形成される各層の結晶性も良くないということが判明した。そこで、バッファ層を除いて、基板上に最初に形成される層をなるべく不純物濃度の低い層とすれば、以後、その上に形成される各層の結晶性が良くなり、発光輝度、発光効率が向上することが判明した。

【0005】従って、本発明は、上記の知見に基づいて成されたものであり、本発明の目的は、発光素子の各層の結晶性を向上することで、発光輝度及び発光効率を向上させることである。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、基板上に形成された3族窒化物半導体から成るn層、発光層、p層とを有する発光素子において、n層、p層のうち基板に近い方に形成される層を、基板に近い方から、不純物無添加を含む低濃度に不純物を添加した第1低不純物濃度層と、その第1低不純物濃度層の上に形成され、高濃度に不純物を添加した高不純物濃度層とを有する構成とし、高不純物濃度層に対してコンタクト電極を形成したことを特徴とする。

【0007】上記の構成において、高不純物濃度層と発光層との間には、低濃度に不純物を添加した第2低不純物濃度層が形成されていても良い。発光層を成長させる基礎となる層の不純物濃度を低くしたのでその層の結晶性が良く、従って、その上に成長される発光層の結晶性も良くなる。

【0008】上記の構成において、第1低不純物濃度層のキャリア濃度は $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下が望ましい。この時、その上に形成される各層の結晶性が改善される。又、低不純物濃度層の厚さは、 $100 \text{ \AA} \sim 2 \text{ \mu m}$ が望ましい。100 Åより薄いとその上に形成される各層の結晶性の改善の効果が低く、2 μm以上となると、クラックを発生させずにその上に成長できる各層の厚さが制限されるために望ましくない。

【0009】上記の構成において、高不純物濃度層のキャリア濃度は $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ であることが望ましい。この層にコンタクト電極が形成される。よって、この層は抵抗率が小さい程望ましいが、キャリア濃度を

$1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上とすると、結晶性が悪くなり、その上に形成される層の結晶性が低下するので望ましくない。キャリア濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以下となると、適正な層の厚さで抵抗を低下させることができないので望ましくない。又、その高不純物濃度層の厚さは $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ であることが望ましい。 $0.5 \mu\text{m}$ より薄いとエッチングによりその層を露出して、その層にコンタクト電極を形成するのが困難となり望ましくない。又、 $10 \mu\text{m}$ より厚いとその上に形成される各層をクラックを発生させずに成長させることが困難となるので望ましくない。

【0010】さらに、上記構成において、第1低不純物濃度層の不純物濃度は $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下であることが望ましい。不純物濃度は $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ を越えると、その上に形成される各層の結晶性が低下するので望ましくない。又、基板に近い方に形成される層はn伝導形のn層でもp伝導形のp層でも良いが、p形活性化の点から言えば、基板に近い方をn層とする方が製造が容易である。基板に近い方の層をn層とした場合には、上記のキャリア濃度は電子濃度を意味し、上記の不純物はドナー不純物を意味する。又、基板に近い方の層をp層とした場合には、上記のキャリア濃度はホール濃度を意味し、上記の不純物はアクセプタ不純物を意味する。上記のキャリア濃度、不純物濃度、層の厚さの数値範囲は、n層でもp層でも共に、それぞれ、望ましい範囲である。

#### 【0011】

【発明の作用及び効果】上述したように、発光層の成長の基礎となる層を不純物無添加を含む不純物濃度が低い層としたので、その層の結晶性が向上する。従って、その第1低不純物濃度層の上に形成される各層の結晶性が向上し、特に、発光層の結晶性が良くなる結果、発光輝度、発光効率が向上した。又、その第1低不純物濃度層の上に不純物濃度が高い層を形成し、その層にコンタクト電極を設けたために、キャリアはその第1不純物濃度層を通過することがないために、抵抗による電圧低下、抵抗損が抑制され、発光効率が向上した。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。なお本発明は下記実施例に限定されるものではない。図1は本願実施例の発光素子100全体図を示す。発光素子100は、サファイア基板1を有して

そのサファイア基板1上に $0.05 \mu\text{m}$ のAlNバッファ層2が形成されている。

【0013】そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約 $0.6 \mu\text{m}$ のシリコン濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、電子濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaNから成るn層(第1低不純物濃度層)31、膜厚約 $4.0 \mu\text{m}$ 、シリコン濃度 $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaNから成る高キャリア濃度n<sup>+</sup>層(高不純物濃度層)3、膜厚約 $0.5 \mu\text{m}$ のシリコン濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブのGaNから

成るn層(第2低不純物濃度層)4、膜厚約 $100 \text{nm}$ 、亜鉛(Zn)とシリコン(Si)ドーブがそれぞれ、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ にドーブされた $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ から成る発光層5、膜厚約 $10 \text{nm}$ 、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム

(Mg)濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブの $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{N}$ から成るp伝導型のクラッド層71、膜厚約 $35 \text{nm}$ 、ホール濃度 $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブのGaNから成る第1コンタクト層72、膜厚約 $5 \text{nm}$ 、ホール濃度 $6 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)濃度 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーブのGaNから成るp<sup>+</sup>伝導形の第2コンタクト層73が形成されている。そして、第2コンタクト層73の上面全体にNi/Auの2重層からなる透明電極9が形成されその透明電極9の隅の部分にNi/Auの2重層からなるボンディングのためのパッド10が形成されている。又、n<sup>+</sup>層3上にはAlから成る電極8が形成されている。

【0014】次に、この構造の半導体素子の製造方法について説明する。上記発光素子100は、有機金属気相成長法(以下MOVPE)による気相成長により製造された。用いられたガスは、アンモニア( $\text{NH}_3$ )、キャリアガス( $\text{H}_2$ )、トリメチルガリウム( $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ ) (以下「TMG」と記す)、トリメチルアルミニウム( $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ ) (以下「TMA」と記す)、トリメチルインジウム( $\text{In}(\text{CH}_3)_3$ ) (以下「TMI」と記す)、シラン( $\text{SiH}_4$ )とジエチル亜鉛( $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ ) (以下「DEZ」と記す)とシクロペンタジエニルマグネシウム( $\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ ) (以下「 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ 」と記す)である。

【0015】まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とし、単結晶のサファイア基板1をMOVPE装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧で $\text{H}_2$ を流速2 liter/分で約30分間反応室に流しながら温度 $1100^\circ\text{C}$ でサファイア基板1をベーキングした。

【0016】次に、温度を $400^\circ\text{C}$ まで低下させて、 $\text{H}_2$ を20 liter/分、 $\text{NH}_3$ を10 liter/分、TMAを $1.8 \times 10^{-5}$ モル/分で約90秒間供給してAlNのバッファ層2を約 $0.05 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。次に、サファイア基板1の温度を $1100^\circ\text{C}$ に保持し、 $\text{H}_2$ を20 liter/分、 $\text{NH}_3$ を10 liter/分、TMGを $1.12 \times 10^{-4}$ モル/分、 $\text{H}_2$ ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを $20 \times 10^{-9}$ モル/分で36分導入し、膜厚約 $0.6 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaNから成るn層31を形成した。

【0017】次に、サファイア基板1の温度を $1150^\circ\text{C}$ に保持し、 $\text{H}_2$ を20 liter/分、 $\text{NH}_3$ を10 liter/分、TMGを $1.7 \times 10^{-4}$ モル/分、 $\text{H}_2$ ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを $20 \times 10^{-9}$ モル/分で40分導入し、膜厚約 $4.0 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaNから成る高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3を形成した。

【0018】上記の高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3を形成した

後、続いて温度を1100°Cに保持し、H<sub>2</sub>を20 liter/分、NH<sub>3</sub>を10 liter/分、TMGを $1.12 \times 10^{-4}$ モル/分、H<sub>2</sub>ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを $10 \times 10^{-9}$ モル/分で30分導入し、膜厚約0.5 μm、電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーパントGa<sub>0.99</sub>Nから成るn層4を形成した。

【0019】続いて、温度を800°Cに保持し、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>を20 liter/分、NH<sub>3</sub>を10 liter/分、TMGを $0.2 \times 10^{-4}$ モル/分、TMIを $1.6 \times 10^{-4}$ モル/分、H<sub>2</sub>ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを $10 \times 10^{-9}$ mol/分で、DEZを $2 \times 10^{-4}$ モル/分で、30分間供給して厚さ100nmのシリコンと亜鉛が、それぞれ、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ にドーパしたIn<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.80</sub>Nから成る発光層5を形成した。

【0020】続いて、温度を1100°Cに保持し、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>を20 liter/分、NH<sub>3</sub>を10 liter/分、TMGを $1.12 \times 10^{-4}$ モル/分、TMAを $0.47 \times 10^{-4}$ モル/分、及び、CP<sub>2</sub>Mgを $2 \times 10^{-5}$ モル/分で0.6分間導入し、膜厚約10nmのマグネシウム(Mg)ドーパのAl<sub>0.98</sub>Ga<sub>0.02</sub>Nから成るクラッド層71を形成した。クラッド層71のマグネシウム濃度は $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ である。この状態では、クラッド層71は、まだ、抵抗率 $10^9 \Omega \text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0021】次に、温度を1100°Cに保持し、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>を20 liter/分、NH<sub>3</sub>を10 liter/分、TMGを $1.12 \times 10^{-4}$ モル/分、及び、CP<sub>2</sub>Mgを $2 \times 10^{-5}$ モル/分で40秒間導入し、膜厚約35nmのマグネシウム(Mg)ドーパのGa<sub>0.99</sub>Nから成る第1コンタクト層72を形成した。第1コンタクト層72のマグネシウム濃度は $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ である。この状態では、第1コンタクト層72は、まだ、抵抗率 $10^9 \Omega \text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0022】次に、温度を1100°Cに保持し、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>を20 liter/分、NH<sub>3</sub>を10 liter/分、TMGを $1.12 \times 10^{-4}$ モル/分、及び、CP<sub>2</sub>Mgを $4 \times 10^{-5}$ モル/分で18秒間導入し、膜厚約5 nmのマグネシウム(Mg)ドーパのGa<sub>0.99</sub>Nから成るp<sup>+</sup>の第2コンタクト層73を形成した。第2コンタクト層73のマグネシウム濃度は $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ である。この状態では、第2コンタクト層73は、まだ、抵抗率 $10^9 \Omega \text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0023】次に、電子線照射装置を用いて、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72及びクラッド層71に様に電子線を照射した。電子線の照射条件は、加速電圧約10KV、資料電流1 μA、ビームの移動速度0.2mm/sec、ビーム径60 μmφ、真空度 $5.0 \times 10^{-5}$ Torrである。この電子線の照射により、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72及びクラッド層71は、それぞれ、ホール濃度 $6 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、 $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、抵抗率2 Ωcm、1 Ωcm、0.7 Ωcmのp伝導型半導体となった。このようにして多層構造のウエハが得られた。

【0024】次に、図2に示すように、第2コンタクト層73の上に、真空蒸着によりTi(チタン)層111を厚さ1000 Åに形成し、その上にNi(ニッケル)層112

を厚さ1 μmに形成する。そして、Ni層112の上にフォトレジスト12を塗布し、フォトリソグラフにより、図2に示すように、第2コンタクト層73上において、高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3に対する電極形成部位A'のフォトレジスト12を除去した。次に、図3に示すように、フォトレジスト12によって覆われていないTi層111とNi層112とを酸でウェットエッチングして除去した。

【0025】次に、Ti層111とNi層112によって覆われていない部位の第2コンタクト層73、第1コンタクト層72、クラッド層71、発光層5、n層4を、BCl<sub>3</sub>ガスでドライエッチングした後、続いて、Arでドライエッチングした。この工程で、図4に示すように、高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3に対する電極取出しのための孔Aが形成された。その後、マスクとしてのフォトレジスト12、Ti層111及びNi層112を除去した。

【0026】次に、様にフォトレジストを塗布した後、フォトリソグラフィー工程により、透明電極9を形成する部分に窓を開けた。この後、様にNi/Auの2層を蒸着し、フォトレジストを除去して、即ち、リフトオフ法により、第2コンタクト層73の上に透明電極9を形成した。そして、その透明電極9の一部にNi/Auの2層を蒸着してパッド10を形成した。一方、n<sup>+</sup>層3に対しては、同様な工程により、アルミニウムを蒸着して電極8を形成した。その後、上記のごとく処理されたウエハは、各素子毎に切断され、図1に示す構造の発光ダイオードを得た。この発光素子は駆動電流20mAで発光ピーク波長430 nm、発光強度1500mCdであった。従来構造のLEDに比べて発光強度は3倍になった。

【0027】尚、Ga<sub>0.99</sub>Nのn層31を設けて上記構成の発光素子を形成した場合の最上層の第2コンタクト層73の表面モロロジを顕微鏡で観察した。その表面顕微鏡写真を図5に示す。又、従来の発光素子のように、n層31を設けずに、バッファ層2の上に直接、n<sup>+</sup>層3を形成して、発光素子を形成した場合の最上層の第2コンタクト層73の表面モロロジを顕微鏡で観察した。その表面顕微鏡写真を図6に示す。いずれも200倍の顕微鏡写真である。

【0028】この写真から分かるように、n層31を設けてその上に各層を積層させた方が結晶性が良くなっていることが理解される。

【0029】上記実施例において、n層4を高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3と発光層5との間に形成しているが、高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3の不純物キャリア濃度が比較的低い場合には、高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3の上に直接、発光層5を成長させても良い。上記実施例において、n層31には、シリコンを $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ に添加して電子濃度を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ としているが、無添加であっても良い。シリコン濃度が $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、電子濃度が $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ よりも小さい時には、その上に成長する各層の結晶性が良好

となることが確認されている。

【0030】さらに、 $n$ 層31の厚さは $0.6\ \mu\text{m}$ としているが、 $n$ 層31はその上に順次成長する各層の結晶性を改善するために存在するために、 $100\ \text{\AA} \sim 2\ \mu\text{m}$ 範囲で結晶性の改善の効果があることが確認されている。上記実施例において、高キャリア濃度 $n^+$ 層3のキャリア濃度は $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度を $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ としたが、キャリア濃度は $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の範囲で、その上に成長する層の結晶性を改善でき、且つ、抵抗を小さくすることができる。又、高キャリア濃度 $n^+$ 層3の厚さを $4.0\ \mu\text{m}$ としたが、キャリア濃度と同一の観点からその高キャリア濃度 $n^+$ 層3の厚さは $0.5 \sim 10\ \mu\text{m}$ の範囲が最適である。

【0031】 $n$ 層4は、シリコン濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ としたが、シリコン濃度 $2 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  電子濃度  $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  が適切な範囲である。又、厚さは、 $0.5\ \mu\text{m}$ としたが、 $0.5 \sim 2\ \mu\text{m}$ が望ましい。膜厚が $0.5\ \mu\text{m}$ 以下となると発光強度が低下し、 $2\ \mu\text{m}$ 以上となると直列抵抗が高くなり過ぎ、電流を流すと発熱するので望ましくない。

【0032】上記実施例において、コンタクト層は2層構造としたが1層構造でも良い。発光層5には、 $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ を用いたが2元、3元、4元の $\text{InGaAlN}$ の3族窒化物半導体であれば構成元素の組成比は任意のものが使用できる。又、クラッド層71、第1コンタクト層72、第2コンタクト層73に関しては、発光層5よりもバンドギャップの広い半導体が要求される。これらの層も2元、3元、4元の3族窒化物半導体を用いることができる。又、 $n$ 層31、 $n^+$ 層3、 $n$ 層4も同様に、一般式 $\text{InGaAlN}$ で任意組成比の2元、3元、4元の3族窒化物半導体を用いることができる。

【0033】又、発光層5のシリコン濃度及び亜鉛濃度は、それぞれ、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ が望ましい。 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以下であると、発光中心不足により発光効率が低下し、 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以上となると、結晶性が悪くなり、又、オージェ効果が発生するので望ましくない。さらに好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の範囲が良い。又、シリコン(Si)の濃度は、亜鉛(Zn)に比べて、10倍 $\sim$ 1/10が好ましく、さらに好ましくは  $1 \sim 1/10$ の間程度か、少ないほうがより望ましい。

【0034】上記の実施例では、発光層5は単層で構成したが、一般式 $\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{y1}\text{In}_{1-x1-y1}\text{N}$ ( $0 \leq x1 \leq 1$ ,  $0 \leq y1 \leq 1$ ,  $0 \leq x1+y1 < 1$ )の井戸層と一般式 $\text{Al}_{x2}\text{Ga}_{y2}\text{In}_{1-x2-y2}\text{N}$ ( $0 \leq x2 \leq 1$ ,  $0 \leq y2 \leq 1$ ,  $0 \leq x2+y2 \leq 1$ )のバリア層とから成る単一又は多重量子井戸構造に構成しても良い。その場合に、井戸層又はバリア層にドナー不純物

とアクセプタ不純物を同時に添加しても良いし、井戸層にドナー不純物又はアクセプタ不純物を添加し、バリア層に、逆に、アクセプタ不純物又はドナー不純物を添加しても良い。又、本発明は発光ダイオードの他、レーザーダイオードにも用いることができる。

【0035】アクセプタ不純物は、2族元素のベリリウム(Be)、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)、水銀(Hg)を用いても良い。2族元素をアクセプタ不純物とした場合には、ドナー不純物として、4族元素である炭素(C)、シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、錫(Sn)、鉛(Pb)を用いることができる。又、4族元素をアクセプタ不純物とした場合には、ドナー不純物として、6族元素のイオウ(S)、セレン(Se)、テルル(Te)を用いることもできる。p型化は、電子線照射の他、熱アニーリング、 $\text{N}_2$ プラズマガス中での熱処理、レーザー照射により行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の具体的な第1実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図2】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図3】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図4】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

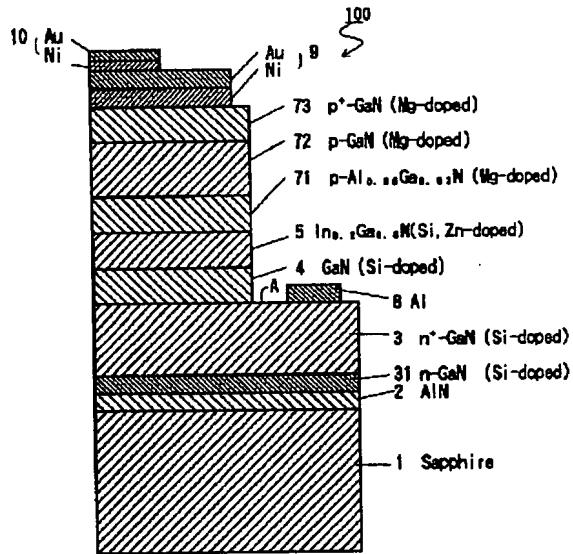
【図5】上記発光ダイオードにおいて第1低不純物濃度層( $n$ 層)を形成した場合の最上層の表面状態を顕微鏡写真。

【図6】発光ダイオードにおいて第1低不純物濃度層( $n$ 層)を形成しない場合の最上層の表面状態を顕微鏡写真。

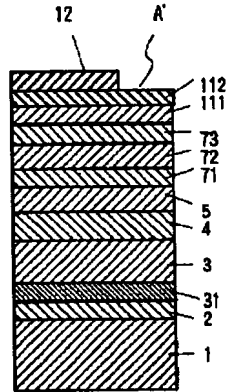
【符号の説明】

- 100 …半導体素子
- 1 …サファイア基板
- 2 …バッファ層
- 31 … $n$ 層 (第1低不純物層)
- 3 …高キャリア濃度 $n^+$ 層 (高不純物層)
- 4 … $n$ 層 (第2低不純物層)
- 5 …発光層
- 6 …キャップ層
- 71 …クラッド層
- 72 …第1コンタクト層
- 73 …第2コンタクト層
- 8 …電極
- 9 …透明電極
- 10 …パッド

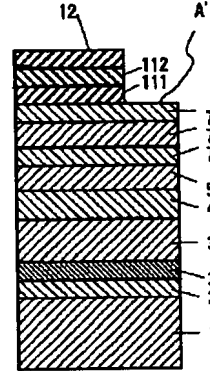
【図1】



【図2】



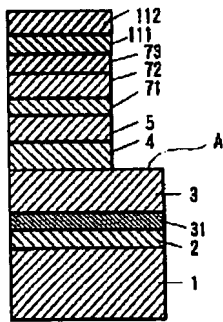
【図3】



【図6】

図面代用写真

【図4】



【図5】

図面代用写真

